

SIMULACION TERMICA DE UN LOCAL ACONDICIONADO MEDIANTE UN MURO ACUMULADOR CON VENTILACIÓN ESTRUCTURAL

L.R.Saravia¹ y A. Bouciguez
INENCO² : Universidad Nacional de Salta - CONICET
Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina
Fax : 54-87-255489, E-mail: saravia@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

Se presenta un programa de simulación numérica llamado "MUROVENT", con el cual se puede simular el comportamiento de un sistema de acondicionamiento térmico activo de un local, el que utiliza un muro acumulador con ventilación estructural en verano y calentamiento mediante colectores solares en invierno. Se describen el tipo de local considerado, la simulación planteada y se discuten los resultados que se obtienen para invierno y verano así como su sensibilidad a los cambios de los parámetros más importantes.

INTRODUCCION.

En trabajos anteriores [1,2,3] se ha propuesto el acondicionamiento de locales en la ciudad de Salta con un sistema activo que utiliza un muro acumulador con ventilación estructural en verano y calentamiento mediante colectores solares en invierno. Se ha construido un prototipo que ha sido medido con el fin de caracterizar el funcionamiento térmico del muro y se ensayó una simulación numérica del mismo mediante diferencias finitas en una dimensión.

En base a la experiencia recogida se ha preparado un modelo numérico de simulación térmica de un local que incorpora un acondicionamiento térmico de este tipo y permite encarar el diseño del muro teniendo en cuenta los parámetros que caracterizan el comportamiento del local y las condiciones climáticas del lugar en que se encuentra. A continuación se describen el tipo de local considerado, la simulación planteada y se discuten los resultados que se obtienen para invierno y verano así como su sensibilidad a los cambios de los parámetros más importantes.

EL LOCAL Y EL SISTEMA TERMICO

La figura 1 muestra un esquema de la planta del local considerado, el que constituye una aplicación típica de este tipo de sistema de acondicionamiento. Se ha dibujado la mitad a ser simulada, ya que la otra mitad es simétrica. El local está flanqueado a ambos lados por muros acumuladores que lo separan de zonas adyacentes en el edificio. El frente, fondo y techo del local se suponen en contacto con el exterior. Por el interior de cada muro circula aire por convección forzada. Durante el verano el aire es tomado desde el exterior durante la noche refrescando el muro. La circulación se suspende durante el día y el muro refresca el local. Durante el invierno el aire pasa a través de colectores solares durante el día con el fin de calentar el muro. Durante la noche se suspende el flujo y el muro colabora en el calentamiento del local. Los colectores estarán colocados sobre la envolvente del local, ya sea en una pared que mira al norte o en el techo.

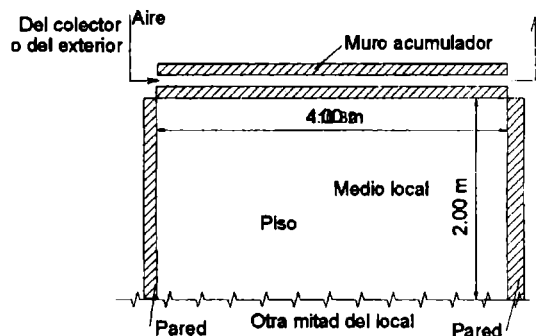


Fig. 1.- Planta esquemática de la mitad del local.

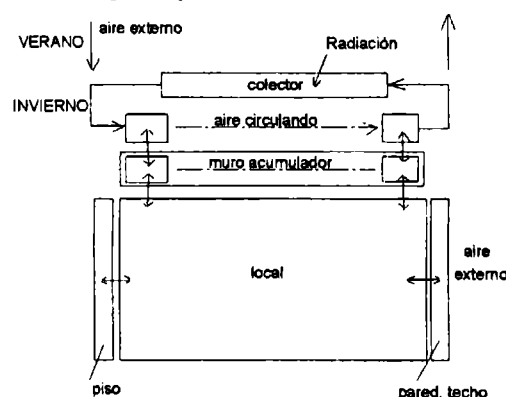


Fig. 2.- Representa los objetos que forman el simulador del local y los intercambios entre ellos

A los efectos de ensayar la simulación numérica preparada, se tendrá en cuenta un local de 4x4 m² de área y 2,40 m de altura cuyos componentes tienen los valores que figuran en la Tabla 1 para sus principales propiedades. Los coeficientes de convección corresponden a las superficies de los tres tipos de componentes básicos que forman el local. En el caso de paredes y techos se ha supuesto que existe una aislación térmica de baja masa adosada a la superficie, por lo que el coeficiente considera el paralelo de la capa de aire y la aislación colocada. En el caso del muro acumulador el coeficiente externo considera el hecho de que circula aire a cierta velocidad. Si bien esta es baja, menor de 1 m/s, incrementa en algo

¹- Investigador del CONICET , ²- Instituto UNSa-CONICET

Tabla 1.- Valores de las principales propiedades de los componentes del local simulado.

| Componentes | | Muro acumulador | Paredes y techo | Piso |
|--------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------|
| Espesor | m | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| Densidad | kg/m ³ | 1500 | 1500 | 1800 |
| Calor específico | J/kg.C | 1000 | 1000 | 1000 |
| Conductividad térmica | W/m.C | 1.0 | 1.0 | 0.6 |
| Coef. Convección interno | W/m ² .C | 9 | 6 | 6 |
| Coef. Convección externo | W/m ² .C | 6 | 1 | - |

al mismo. Para el piso se consideró que a 50 cm la variación diaria de temperatura es mínima y el coeficiente pierde relevancia, por lo que se toma un valor nominal a efectos de poder usar el mismo algoritmo de simulación que para las paredes.

El colector estará caracterizado por la siguiente expresión, que es la habitual para un colector de aire[4]:

$$Q_{uni} = A_{col} \times (0.5 \times I - 5 \times (T_{ext} - T_{aire})),$$

donde Q_{uni} es el flujo de calor extraído por el aire que circula, en W/m², I es la radiación instantánea que llega a la superficie del colector, en W/m², A_{col} es el área de colección, T_{aire} es la temperatura de entrada del aire que circula y T_{ext} es la temperatura del ambiente en el que está colocado el colector, ambas en °C.

EL PROGRAMA DE SIMULACION "MUROVENT".

El lenguaje utilizado para preparar la simulación numérica fue el Visual Basic, versión 5.0[5], que permite usar la técnica de objetos para representar los elementos que forman el local. Los objetos y relaciones se describen gráficamente en la figura 2, siendo explicados en los párrafos que siguen. Al programa se le ha dado el nombre de MUROVENT, versión 1.0.

Se definió una clase genérica llamada PARED que representa un elemento másico unidimensional con las siguientes propiedades: densidad, calor específico, conductividad térmica, espesor y área. Se encuentra en contacto en ambos lados con aire a temperaturas dadas a través de una capa sin masa caracterizada por un coeficiente convectivo. El elemento tiene una distribución de temperaturas en un conjunto de puntos igualmente espaciados a lo largo de su espesor. Los puntos en los extremos se encuentran sobre las respectivas superficies. Un "método" calcula la evolución de las temperaturas en un intervalo de tiempo si se suponen conocidas y constantes en el intervalo las temperaturas del aire a ambos lados. Cuando el "método" es llamado devuelve las nuevas temperaturas en las superficies, que son los eventuales puntos de contacto del elemento con las otras componentes del local. La clase tiene en cuenta el hecho de que al arrancar el cálculo deben conocerse la distribución inicial de temperaturas, que figura como una propiedad adicional. El algoritmo utilizado para calcular la variación de temperatura es el más sencillo posible, dado que para las microcomputadoras actuales estos cálculos no constituyen un problema de envergadura. Se ha aplicado a la ecuación del calor para el elemento una discretización por diferencias finitas explícita, la que se debe hacer avanzar en pasos de tiempo pequeños para que converja.

A partir de la clase se pueden generar distintos objetos que tengan la misma estructura. Las paredes del local, techo y piso están directamente representados por esta clase. El muro acumulador tiene el problema de que su temperatura va variando a lo largo del trayecto por el cual fluye el aire proveniente del colector, por lo que se lo representa por una sucesión de 6 objetos PARED, todos con iguales propiedades, los que se van poniendo en contacto con el aire que circula en sucesión.

Una segunda clase genérica llamada VOLUMENAIRE representa a los volúmenes de aire enfrentados a las porciones del muro acumulador y en los cuales entra y sale el flujo de aire circulante dentro del muro, el cual, en el invierno, proviene del colector solar durante el día y vuelve al mismo luego de circular por 6 volúmenes en forma sucesiva. Un "método" calcula directamente la temperatura de salida del aire de un volumen teniendo en cuenta la de entrada y las temperaturas de las porciones de muro acumulador con la que hace contacto. La temperatura de salida de un módulo es la de entrada del siguiente. La circulación de aire es en un circuito cerrado ya que el aire vuelve al colector, por lo que el cálculo requiere un proceso iterativo en el que se supone conocida la temperatura de entrada de aire al colector, se calculan los sucesivos pasajes del aire por el colector y los 6 volúmenes para obtener la nueva temperatura de entrada al colector. Este proceso se repite iterativamente hasta obtener los valores estacionarios de todas las temperaturas. Durante el verano la situación cambia ya que no se usa el colector y el aire se toma directamente del exterior conociéndose su temperatura, es decir, no existe recirculación. En estas condiciones no es necesario recurrir a una iteración.

Un último objeto es el aire del local, cuya temperatura queda definida por los aportes térmicos de los distintos elementos másicos. La temperatura se obtiene como promedio de las de las distintas superficies teniendo en cuenta el flujo de calor entregado por cada una.

La evolución de la simulación teniendo en cuenta todos los objetos del modelo resulta de una interacción sucesiva entre los objetos con masa y los que no la tienen. Se arranca conociendo la temperatura inicial de las masas. Con ellas se calculan las temperaturas en cada volumen de aire y en el local. Con las mismas supuestas constantes se calcula la evolución de las temperaturas de las masas durante un corto periodo de tiempo. Luego se vuelve a repetir el esquema avanzando en el tiempo. En esta evolución se deberán ir entregando como datos la radiación en el colector y la temperatura ambiente. Se cortará la circulación de aire en el colector durante el invierno cuando la radiación se anule, y durante el verano cuando la temperatura del aire externo sea mayor que la del local.

RESULTADOS DE INVIERNO

En la figura 3 se muestran resultados de una simulación para una sucesión de 5 días soleados y fríos y 5 cuasinublados. Los datos para cada tipo de día son reales, tomados en el prototipo de local con muro que ha sido ensayado anteriormente [1], pero la sucesión es ficticia y ha sido armada para observar la entrada en régimen estacionario y la respuesta del local cuando cae la radiación. La temperatura inicial en los distintos muros es ligeramente inferior a la media de los primeros cinco días, con lo cual se logró llegar a régimen en ese período. El colector se coloca con 45 grados de inclinación y la radiación máxima sobre el mismo llega a 870 w/m² a mediodía. Para los días cuasinublados la radiación máxima fue de 425 W/m². La temperatura inferior de la figura 3 es la temperatura ambiente. Los primeros días son fríos y la temperatura nocturna baja de 0 C hasta unos -3 C. Durante los días nublados la temperatura se estabiliza durante todo el día. La siguiente temperatura es la del local. Con las aislaciones especificadas en la tabla 1 se logra una temperatura del local cercana a los 19 C con un área de colector de 3 m² para la mitad del local que se simula. La variación de temperatura del local a lo largo del día es baja, del orden de un grado entre día y noche, gracias a la masa del sistema. Esta variación se logra con el muro acumulador de 30 cm de espesor, lo que amortigua mucho la influencia de la variación de la temperatura del aire que circula por el colector. Las dos temperaturas superiores corresponden al aire que circula por el muro, a la entrada del muro (salida del colector) y a su salida (entrada del colector). La variación de temperatura es de unos 10 C de punta a punta, con un máximo a mediodía de 50 C. Estas temperaturas dependen bastante del flujo de aire circulante. El adoptado en las simulaciones es proporcional al área de colección A_{col} e igual a $0.03 \cdot A_{col}$ en kg/s. Este valor es del orden del doble del habitualmente utilizado en colectores de aire y se eligió de esta manera para que el salto de temperaturas a lo largo del muro no fuese muy alto. Durante la noche el flujo de aire se para, por lo que las líneas marcadas no tienen sentido físico y solo aseguran la continuidad de la línea.

En la figura 3 no se ha colocado la temperatura en el muro acumulador por razones de claridad. A la entrada del muro, sobre la cara que mira al aire que circula, la temperatura llega a 38 C y baja hasta 26 C. Se tiene un salto de 12 C mientras la figura muestra que el aire en circulación cambia unos 18 C. En la cara que da al local el muro oscila entre 22 y 24 C gracias al espesor del muro.

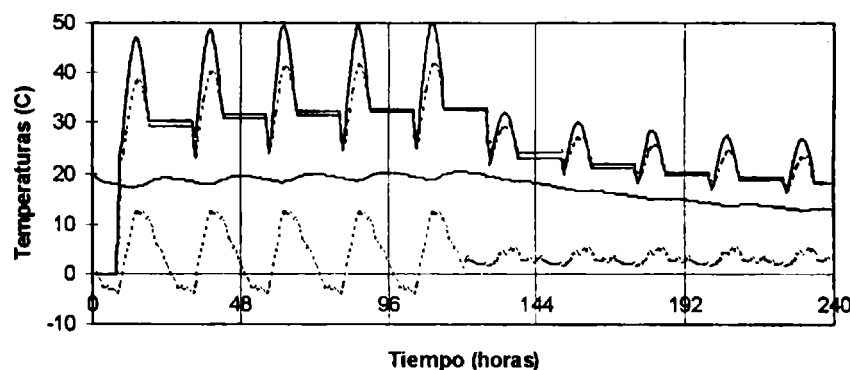


Fig. 3.- Temperaturas obtenidas en la simulación de una sucesión de días de invierno. Ellas son, de abajo a arriba: ambiente, aire del local, salida aire de circulación, entrada aire de circulación

La Tabla 2 muestra los principales resultados de un estudio de sensibilidad en que se han ido variando de a uno los

Tabla 2.- Cálculo de sensibilidad para 3 parámetros observando 4 temperaturas.

| Temperaturas | Cálculo de base | Espesor muro acum Base = 0.30 m | | Flujo de aire Base = $0.03 \cdot A$ kg/s | | Área colector Base = 3 m ² | |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------|------|--|----------------|---------------------------------------|-----|
| Cambio introducido | - | 0.45 | 0.15 | $0.02 \cdot A$ | $0.04 \cdot A$ | 2 | 4 |
| Media del local | 19 | 18 | 20.5 | 19 | 19 | 17 | 20 |
| Variación en el local | 1.0 | 0.5 | 2.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Máxima, aire entrada | 50 | 50 | 50 | 54 | 48 | 44 | 55 |
| Máxima, aire salida | 42 | 42 | 42 | 41 | 42 | 34 | 48 |

principales parámetros del sistema. Se dan los resultados correspondientes a las principales temperaturas. Se observa que el espesor del muro acumulador influye mucho sobre la variación diaria de temperatura del local, el flujo de aire circulante influye sobre la temperatura máxima del aire de entrada y el área de colección influye sobre la temperatura media del local y las temperaturas del aire de circulación.

RESULTADOS DE VERANO

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos con el sistema funcionado en modo de refrescamiento para un día de verano en que la temperatura máxima ha llegado a 34 C y se tiene un salto diurno-nocturno de 17 C. A igual que en el caso anterior se armó una secuencia de días iguales, en este caso 10, con el fin de apreciar la entrada en régimen. Se impusieron condiciones iniciales de 25 C en todas las masas, como si el sistema no hubiese estado funcionando anteriormente y la casa estuviese caliente. Se aprecia en la figura 4 que el local tarda los 10 días en llegar a su situación estacionaria.

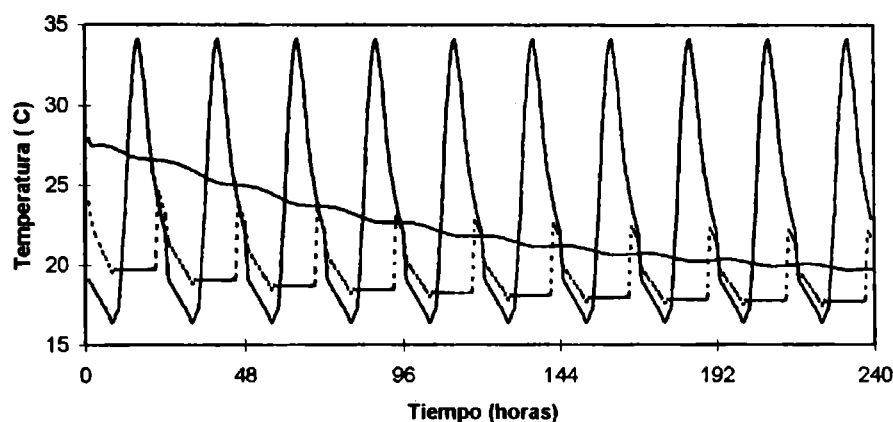


Fig. 4.- Temperaturas obtenidas en la simulación del sistema de refrescamiento durante una sucesión de días de verano. Ellas son, de arriba a abajo: temperatura externa, del aire del local y del aire de circulación a la salida.

Como se aprecia, se logra una temperatura media en el local de unos 20 C, mientras la media diaria de la temperatura externa es de unos 24 C. La variación diaria es baja, lo que esperable dado que la masa del local es alta. En la figura 4 también se muestra la temperatura del aire que circula dentro del muro. La de entrada al muro es el aire externo, por lo que no existe como curva separada. La de salida se muestra como una curva punteada. Tiene valores por encima de la temperatura de entrada ya que en este caso el aire que circula es calentado por el local, es decir, el aire está extrayendo calor aprovechando el descenso nocturno de la temperatura externa. Se ha adoptado un valor para el flujo de aire que circula igual al utilizado durante el invierno, de 0.09 kg/s.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una herramienta de diseño que permite encarar la selección de los distintos parámetros del sistema de acondicionamiento térmico que se discute. La misma resulta ser necesaria en virtud de que existen diversos parámetros que deben ser elegidos adecuadamente para lograr un funcionamiento balanceado tanto en verano como invierno. La puesta a punto de este tipo de sistemas depende de manera importante de las condiciones meteorológicas del lugar de uso. Esta herramienta se ha desarrollado en forma independiente de otros programas generales de cálculo del balance térmico de edificios y tiene como fin realizar un análisis rápido de las posibilidades del sistema usando como referencia un local tipo. Se dispone del código fuente del programa, en el cual es sencillo realizar cambios para introducir distintos tipos de cargas térmicas. Un programa más general, como ser el SIMEDIF que también fue desarrollado en el INENCO[6], no puede ser usado directamente con este fin ya que no dispone de circulación forzada de aire entre locales, pero su programación podría ser adaptada si se requiere un estudio que tenga en cuenta una descripción más detallada del edificio.

REFERENCIAS

1. Bouciguez, A. y Saravia, L. R., *Sistema activo de calentamiento y enfriamiento de edificios para la ciudad de Salta*, Actas de la 16ta. Reunión de Trabajo de la ASADES, La Plata, Argentina, pp.159, 1993.
2. Bouciguez, A. y Saravia, L. R., *Ensayo de un sistema de calentamiento y refrescamiento*, Actas de la 17ma. Reunión de Trabajo de la ASADES, Rosario, Argentina, pp. 39, 1994.
3. Saravia, L. R. y Bouciguez, A., *El muro ventilado como acumulador de invierno y verano: simulación y comparación con los resultados experimentales*, Actas de la 19na. Reunión de Trabajo de la ASADES, Mar del Plata, Argentina, pp. 06.33, 1995.
4. J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley-Interscience, pp. 224, 1980
5. Visual Basic, version 5.0, *Programming System for Windows 95 and Windows NT*, Microsoft Corporation, 1997.
6. M. Casermeiro y L. R. Saravia, *Cálculo térmico horario de edificios solares pasivos*. Actas de la 9na. Reunión de Trabajo de ASADES, San Juan, Argentina, pp. 39, 1984.